



TITLE:

レーザーを用いたトンネル覆工コンクリートの欠陥検出方法に関する研究(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

御崎, 哲一

CITATION:

御崎, 哲一. レーザーを用いたトンネル覆工コンクリートの欠陥検出方法に関する研究. 京都大学, 2015, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2015-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k18958>

RIGHT:

京都大学	博士（工学）	氏名	御崎 哲一
論文題目	レーザーを用いたトンネル覆工コンクリートの欠陥検出方法に関する研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>現在の主たるトンネル覆工コンクリート検査手法である打音法は、ハンマーのみで検査ができる簡便な健全度判定手法であるが、以下のような課題がある。</p> <p>（１）検査技術者の経験や技量に依存した主観的かつ定性的手法である</p> <p>（２）高所作業や高圧電流近傍作業を伴う（特に、新幹線トンネルの場合）</p> <p>（３）高所作業車や足場の設置・移動作業等を要し、時間的ロスが大きい</p> <p>（４）維持管理技術者が不足し、技術の継承が困難になってきている</p> <p>そこで、本論文では、打音法に代わる方法として、パルスレーザーによる起振とレーザー干渉法による振動の遠隔計測を組み合わせた方法（以後、レーザーリモートセンシング法と呼ぶ）の可能性を検討し、さらに、実現場におけるこの方法による計測結果と、打音法によるコンクリートの健全性診断結果との対比の詳細分析を通じて、最終的に打音法に代わる簡便なトンネル覆工検査手法を提案することを目的としている。以下に、本論文の構成を示す。</p> <p>第１章は序論であり、研究の背景・目的を述べるとともに、コンクリートの剥離等の欠陥を検査する非破壊検査法として、複数の手法を挙げ、それらの過去の研究事例について記述している。</p> <p>第２章においては、レーザーリモートセンシング法のコンクリート剥離検知の原理とその要素技術について述べている。本技術は、打音検査と同等の検査が可能な手法として、コンクリート表面の振動励起にエネルギーを持ったインパルスレーザーを、コンクリート表面の振動状態把握のために連続発振のレーザーを用いている。加振力は、コンクリート表面でのアブレーション現象により発生させており、コンクリート表面の振動を検出する手法としては、コンクリート表面から反射した信号光と、検出用レーザーを計測器内部で分岐させた参照光とを干渉させ、その干渉縞の明暗変化を捉えることで、表面振動として計測している。この方法により、遠隔から非接触でコンクリート表面状態を把握することができることを述べている。また、本手法は光による計測で、光の干渉を用いて計測する場合、原理的に光波長の 1/4 までの変位までしか許容しないことを示している。また信頼性の高い計測ができるのは、光波長の 1/8 までの変位までであることも併せて示している。すなわち、検査対象のコンクリート表面変位やレーザーの光学干渉計のある系が受ける振動の総変位量と周波数には、許容される最大値が存在し、その範囲内に抑制する必要があることを述べている。</p> <p>第３章においては、レーザーリモートセンシングを用いたコンクリート剥離検知方法による、打音検査と同等の検査の可能性を評価することを目的としている。その方法は、試験用コンクリート供試体を用いて、加振用レーザーで振動させた状態を、検出用レーザーで計測するとともに、同時に同一箇所で加速度計計測を実施し、両者のスペクトルを比較することにより検討している。その結果、時系列波形、スペクトル</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	御崎 哲一
<p>に相関があり，卓越振動数が同じになることを確認している．このことにより，コンクリート表面の振動と検出用レーザーで計測した情報は，相関性が高く，打音検査の代替としてレーザーリモートセンシングを用いたコンクリート剥離検知手法を適用できることを示している．</p> <p>第4章においては，レーザーリモートセンシングを用いたコンクリート剥離検知方法により，トンネル覆工コンクリートの欠陥箇所と健全箇所を計測でき，データの取得と判別の可能性を検討している．本計測手法は，精密機器であるレーザー機器をトンネル坑内に搬入する必要があるが，研究室のような安定した計測環境ではないため，計測機器自身の変位が発生すると，ノイズ要因となる．そのノイズ要因は主に計測機器自身の振動と，環境振動・環境騒音であるため，抑制するための手法として，除振台と防音室によりノイズ要因を減少できることを確認しており，現場使用可能な機器の仕様を明らかにしている．また，計測に付帯するノイズを低減させるためのデータの処理方法についても考察している．</p> <p>第5章においては，供試体や現場のコンクリート構造体等における，打音検査による加速度計計測データをもとに，コンクリート欠陥検出アルゴリズムの構築を試みている．複数のコンクリート欠陥検出の概念を提案し，各々の欠陥検出の概念に対して，計測データの数値化を行っている．一方で，人間による健全・不健全の判定と合致するかを検討し，数値化したデータに閾値を設定することで，合致率が最大となるアルゴリズムを見出している．その知見をもとに，コンクリート構造物の健全度判定フローを提案している．</p> <p>第6章においては，打音検査における実際の検査を想定し，音響情報のみならず，目視による視覚情報を加えることで，検査精度や効率を向上させる手法を提示している．ひび割れ箇所や前回検査により覆工にチェックした箇所を中心に，レーザーリモートセンシング法を用いて検査することにより，変状箇所をスクリーニングすることが可能となることを述べている．また，実際の検査においては，変状箇所を領域として捉え，健全性を判定していることから，レーザーリモートセンシング法による計測データをコンクリート面の座標に数値入力し，変状領域の分布を把握することにより，コンクリート剥離検査を領域判定するフローチャートを構築している．これにより，コンクリート欠陥部を判定，領域化する手法のシステム化を可能としている．このシステムを運用し，現在の検査に活用する方法を考察している．また，定量化された情報を座標管理し，次回検査以降も記録を継続することにより，維持管理データとして蓄積され，変状の進行度合いを把握できることで，予防保全に資することができることを述べている．</p> <p>第7章は結論であり，本論文で得られた成果，結論について要約している．</p>			

(論文審査の結果の要旨)

トンネル覆工コンクリートの剥離検査において、検査技術者の技量や判断基準の差異による検査判定のばらつきをなくし見落としを防止すること、高所作業や停電作業といった危険な作業を回避できること、併せて検査時間や作業の効率化を目指すことが求められている。本論文では、その解決策の一つとして、レーザーリモートセンシング法と呼ぶ方法を用いたコンクリート剥離検知システムを開発している。

第1章は、研究の背景・目的を述べるとともに、過去の研究事例について記述している。

第2章においては、レーザーリモートセンシング法について、コンクリート剥離検知の原理とその要素技術について述べている。

第3章においては、変状を模擬したコンクリート試験供試体を作成し、レーザーリモートセンシング法によるコンクリート剥離検知装置により、計測を行っている。また、その結果と加速度計による計測結果を比較することにより、レーザーリモートセンシング法の妥当性について検討している。

第4章においては、現場における計測を実現させるため、振動・騒音による計測機器の変位を抑える装置を試作し、その効果を確認している。また、計測に付帯するノイズを低減させるためのデータの処理方法についても考察している。

第5章においては、現場で計測したデータをもとに、コンクリート欠陥検出アルゴリズムの構築を試みている。複数の判定アルゴリズムの案を示し、計測データの数値化を行っている。一方で、人間による健全・不健全の判定と合致するかを検討し、合致率が最大となるアルゴリズムを見出している。その知見をもとに、コンクリート欠陥の健全度判定フローを提案し、運用方法を考察している。

第6章においては、打音検査における実際の検査を想定し、音響情報のみならず、目視による視覚情報を加えることで、検査精度や効率を向上させる案を提示している。また、定量化された情報を座標管理し、次回検査以降も記録を継続することにより、維持管理データとして蓄積され、変状の進行度合いを把握できることで、予防保全に資することができることを述べている。

第7章は、本論文で得られた成果について要約している。

今後、土木構造物ストックが老朽化する一方で、維持管理技術者が少子化で不足することが予見される現在、汎用的で実績のある打音検査に代替できる本技術は、今後の維持管理に不可欠で、社会的貢献が大きい。本論文は、コンクリート表面における遠隔からのレーザー加振による非破壊・非接触検査手法について述べたもので、非常に独創的な技術であり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成27年2月23日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降